



# **BANCADA DE EMULAÇÃO DE TURBINA EÓLICA INTEGRADA EM MICRORREDE**

Bolsista: Isaque Luis Gallina Verona

Orientadores : Julio Elias Normey Rico e  
Diogo Ortiz Machado

**PRH-2.1**

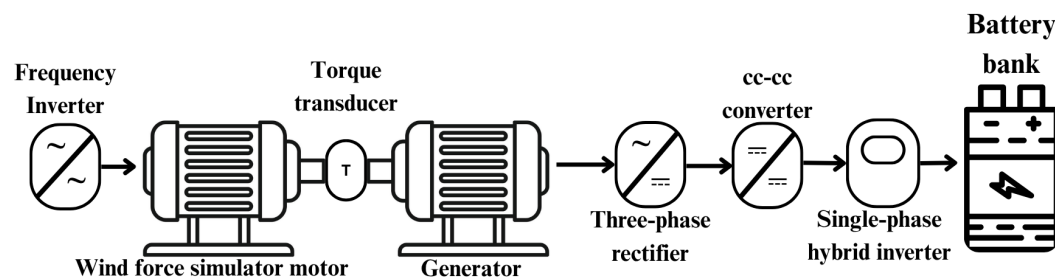
**Tipo de bolsa: Graduação**

**Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Florianópolis**



## Aperfeiçoamento de uma bancada de emulação

- O trabalho de pesquisa a ser desenvolvido, no contexto da bolsa de iniciação científica do PRH 2.1, consiste no **aperfeiçoamento e desenvolvimento** de uma **bancada de emulação de geração de energia eólica**, bem como um controle de potência para a mesma.
- O objetivo principal do projeto é **operacionalizar o emulador**, equacionar e desenvolver um controle para o sistema, relacionando torque e potência e, por conseguinte, determinar os pontos de operação da planta, além de otimizar a geração de energia com algoritmos de controle adequados.

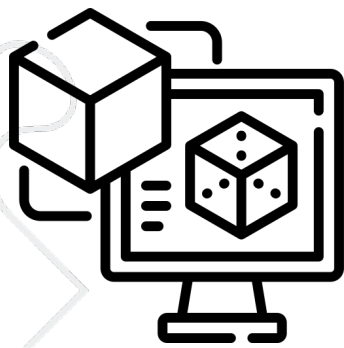
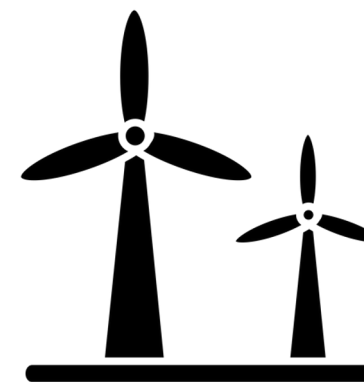


# JUSTIFICATIVA

## A relevância do tema no cenário atual



- Em 2023, o Brasil atingiu um recorde de **4,8 GW** de nova capacidade instalada de energia eólica on-shore. Atualmente existem mais de 1.000 parques eólicos em operação no território nacional (Global Wind Workforce Outlook, 2024).
- A dificuldade de realização de ensaios e testes em turbinas eólicas reais principalmente off-shore, que são equipamentos de custo elevado e testes mal executados podem resultar em danos ao gerador ou perda de faturamento associado ao custo de operação.
- Um emulador pode ser uma solução adequada para o desenvolvimento algoritmos de controle local do próprio emulador, bem como algoritmos de controle de alto nível utilizados para controlar uma microrrede.





## Como Nossa Emulação Ajuda a Indústria P&G

- Energia em Locais Remotos: O projeto é aplicável no planejamento e operação de sistemas híbridos de energia (eólica + diesel) para plataformas off-shore e bases remotas.
- Bem como o desenvolvimento de algoritmos de controle (como o MPPT) é replicável em outros processos críticos de P&G.



Bancada de emulação de turbina eólica integrada em microrrede  
Isaque Verona - Graduação  
PRH – 2.1

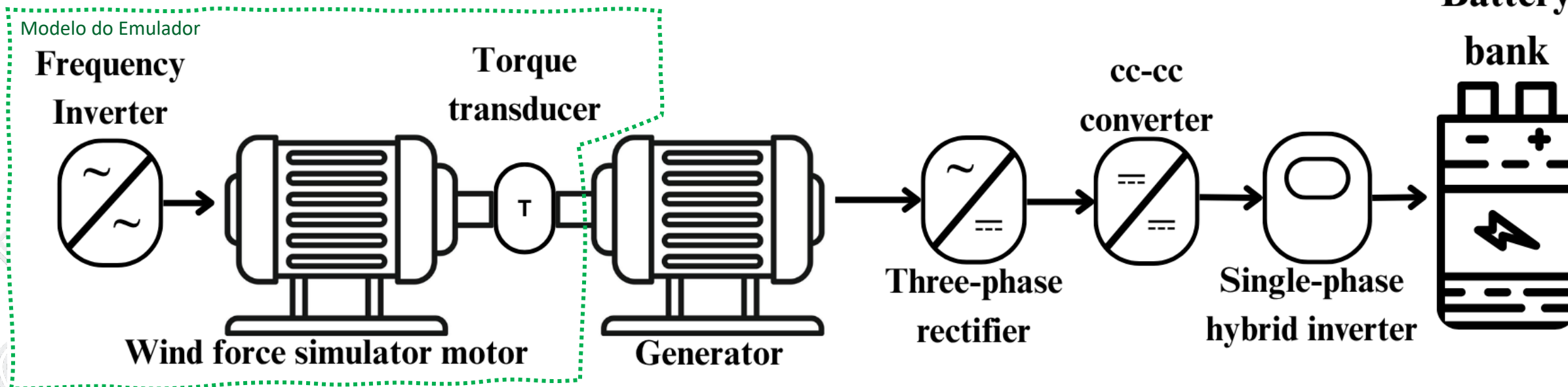


## Etapas a serem feitas/em andamento

- Sensoriamento e comunicação;
- Aplicação de um modelo analítico e fenomenológico de uma turbina no Emulador;
- Modelagem do Gerador;
- Controle de Potência;



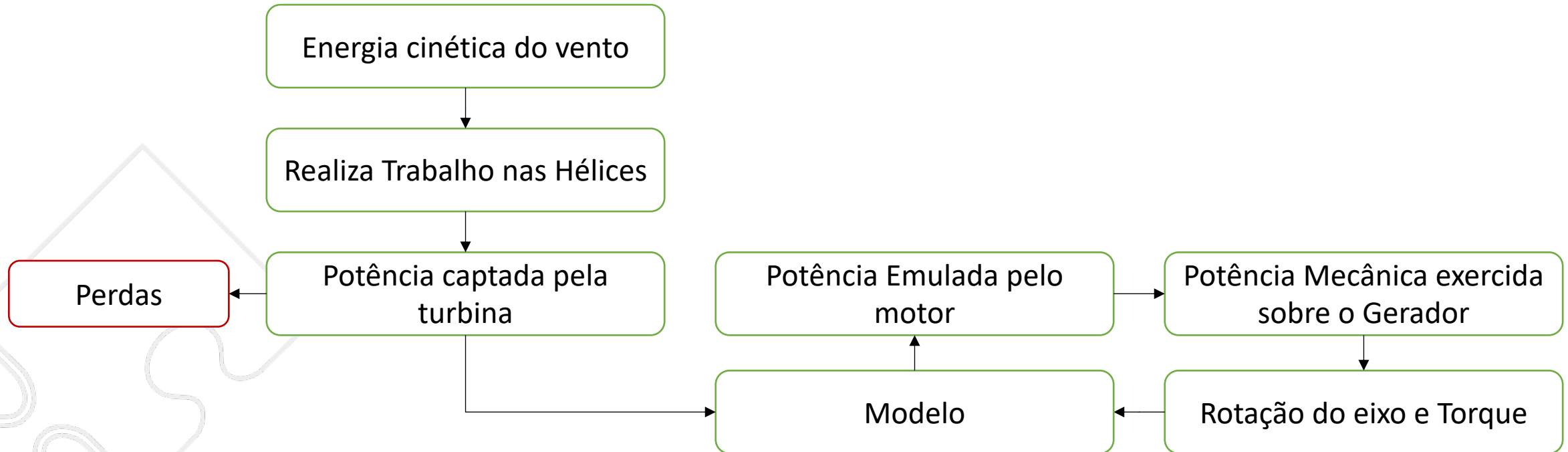
## Emulador



Fonte: Autor, 2025



## Emulador





## Modelo do Emulador

$$P(v(t), \omega(t)) = \frac{\rho A v(t)^3}{2} C_p(\omega(t), v(t))$$

$m$  = massa do ar em movimento;

$v$  = velocidade do vento antes das pás;

$\rho$  = densidade do ar;

$A$  = área varrida pelas pás;

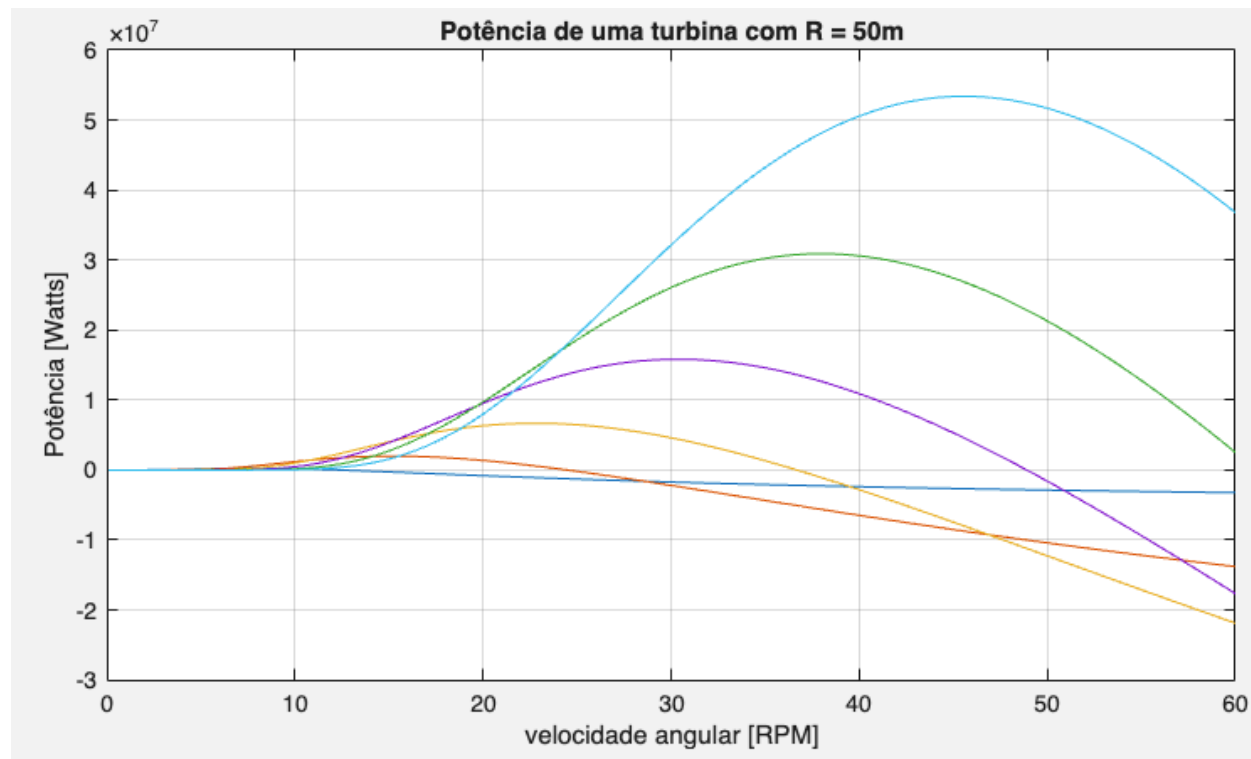
$C_p$  = coeficiente de potência.





## Modelo do Emulador

Potência extraída do vento de acordo com o modelo para diferentes velocidades de vento, em função da velocidade de rotação da turbina



Fonte: Autor, 2025

Bancada de emulação de turbina eólica integrada em microrrede

Isaque Verona - Graduação

PRH – 2.1



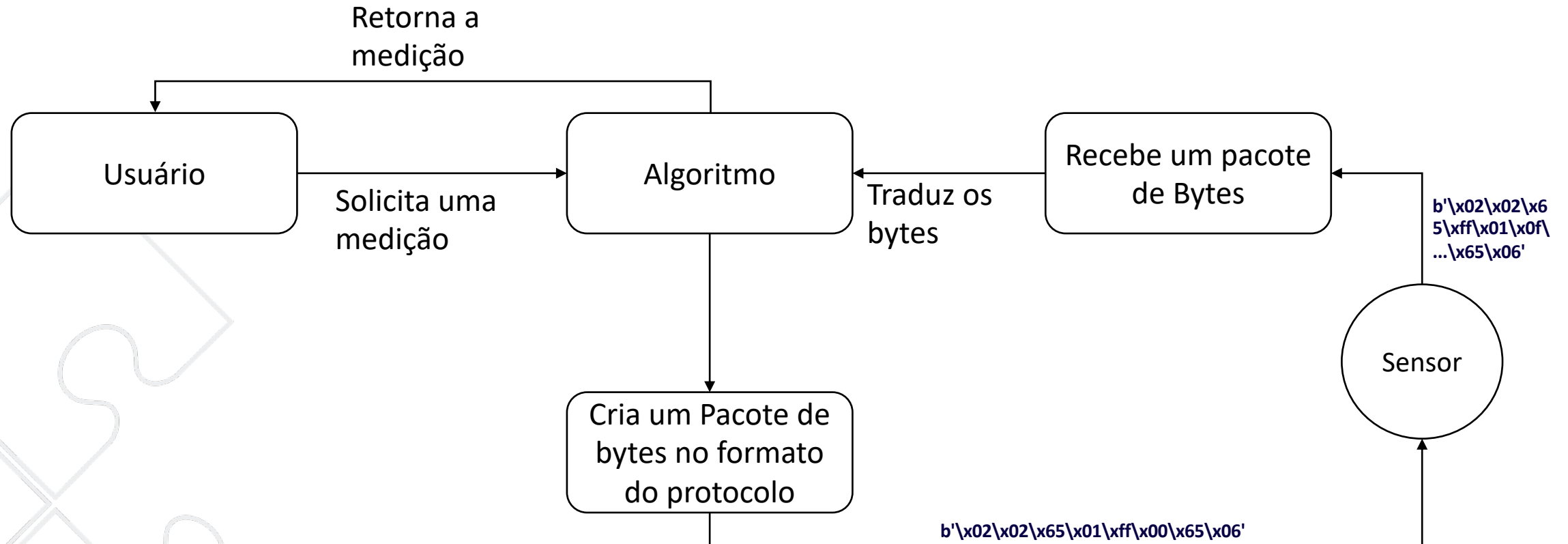
## Sensoriamento e comunicação

- Para obter os dados de torque e RPM, esta instalada na bancada um transdutor de torque;
- Ele opera utilizando um protocolo de comunicação proprietário, tornado necessário a utilização de um software da empresa fabricante para obter os dados medidos;
- Como a dependência de software de terceiros não é algo ideal para um laboratório multiusuário, foi **desenvolvida uma biblioteca Python** responsável por intermediar a comunicação entre o transdutor e o algoritmo responsável pelo controle do processo;
- A aquisição das medições deve garantir um *sample rate* alto o suficiente de acordo com a necessidade da aplicação, bem como uma confiança do valor medido.



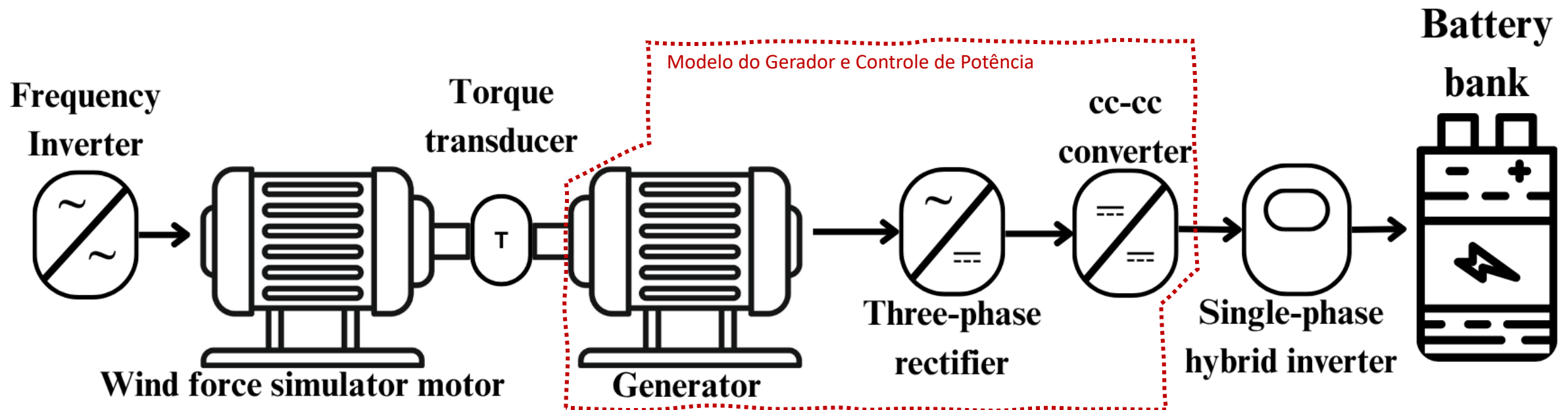


## Sensoriamento e comunicação





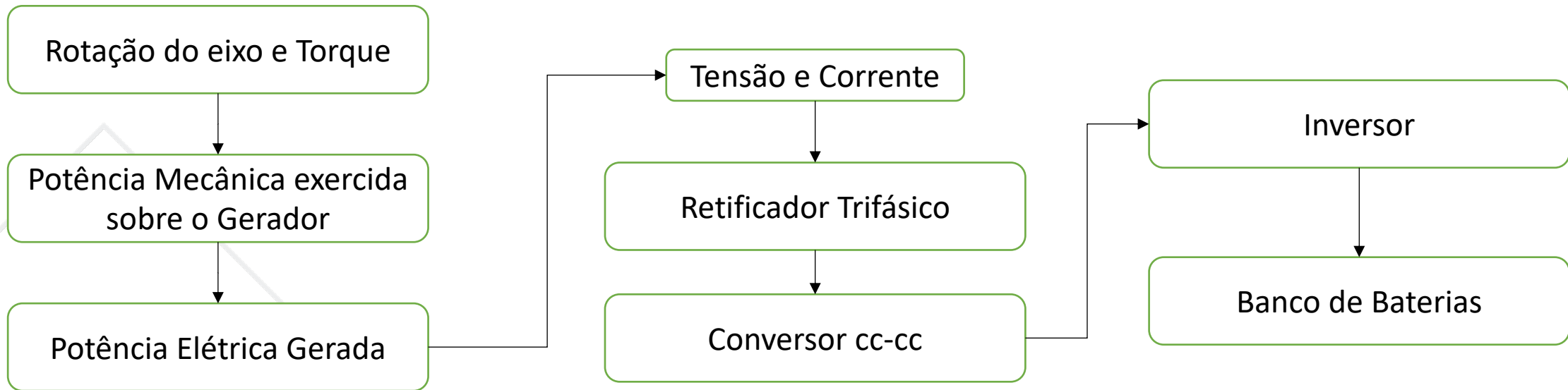
## Modelo do Gerador



Fonte: Autor, 2025

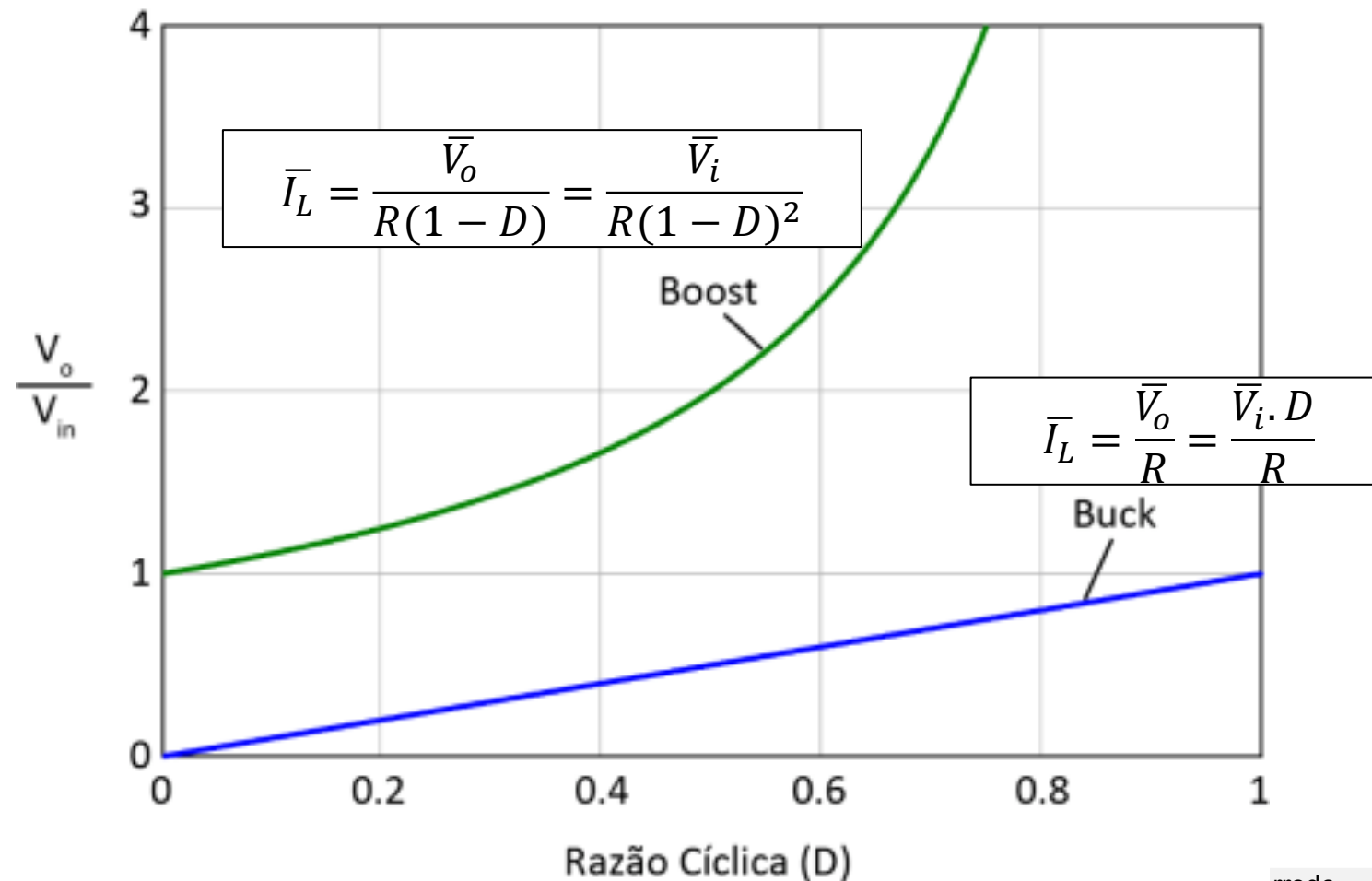


## Modelo do Gerador





## Ganho Estático Conversor Buck (diminuidor de tensão) e Boost (aumentador de tensão)



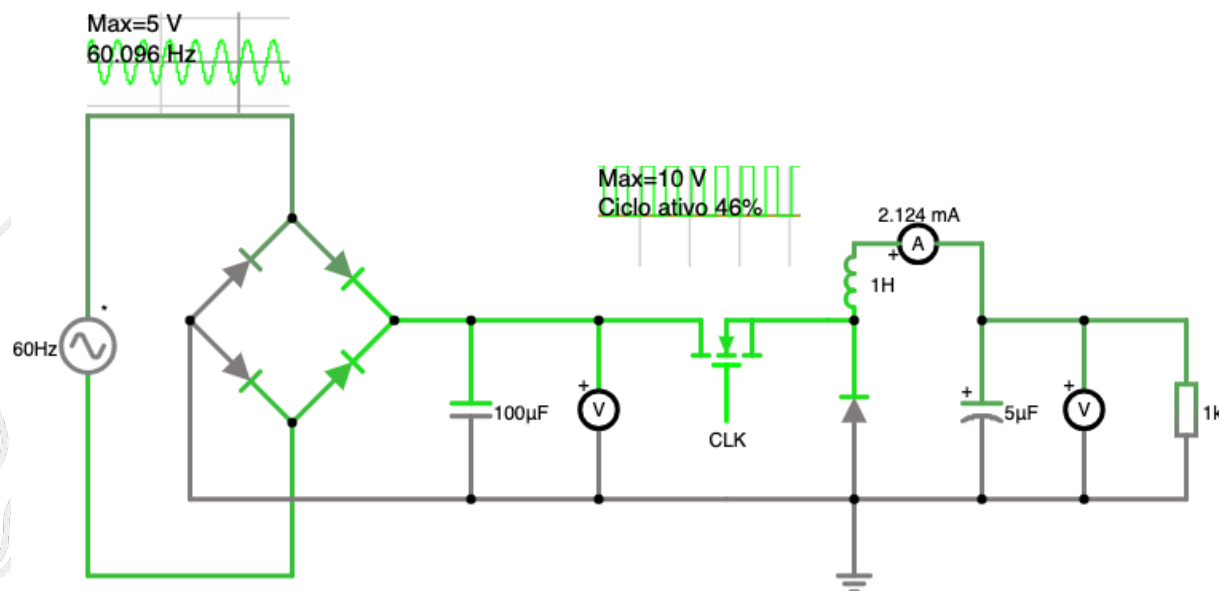
Banque de emulação de turbina eólica integrada em microrede

Isaque Verona - Graduação

PRH – 2.1



## Modelo do Gerador (Simplificado) - Retificador de onda acoplado a Conversor CC



Max=3.923 V  
3.894 V average  
Tensão Entrada Buck

Max=1.72 V  
1.704 V average  
Tensão Saída Buck

Max=2.256 mA  
1.708 mA average  
Corrente Indutor Buck

Min=3.864 V

Min=1.69 V

Min=1.156 mA

Fonte: Autor, 2025



## Comunicação Com o Transdutor

Por enquanto o resultado mais avançado obtido durante a realização desse projeto foi a elaboração da biblioteca de comunicação serial, visto que graças a ela podemos utilizar o sensor para as próximas etapas do projeto, e até mesmo para demais projetos em geral que utilizam transdutores semelhantes.

## Repositório Publico Da Biblioteca

- <https://github.com/isaqueveron/Library-Communication-Torque-Sensor/tree/main>





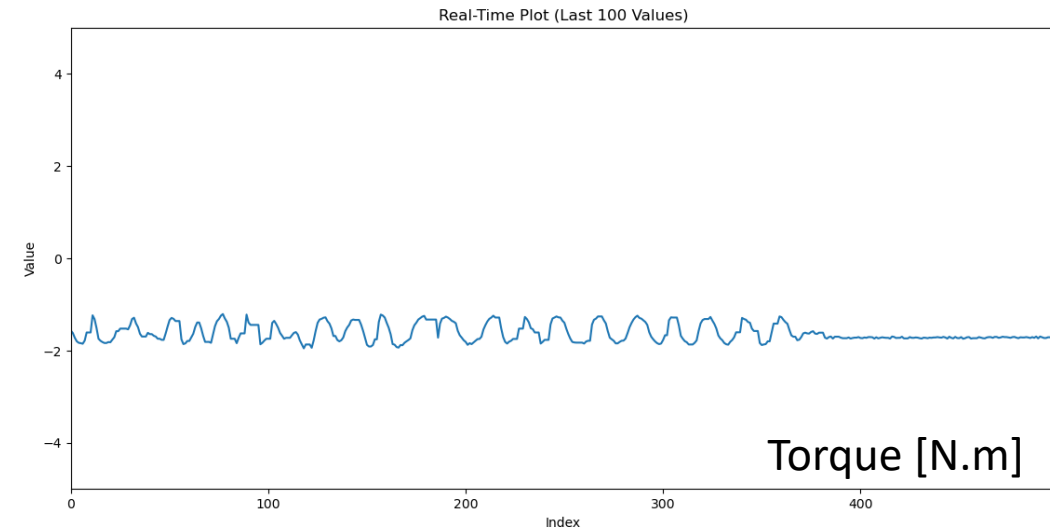
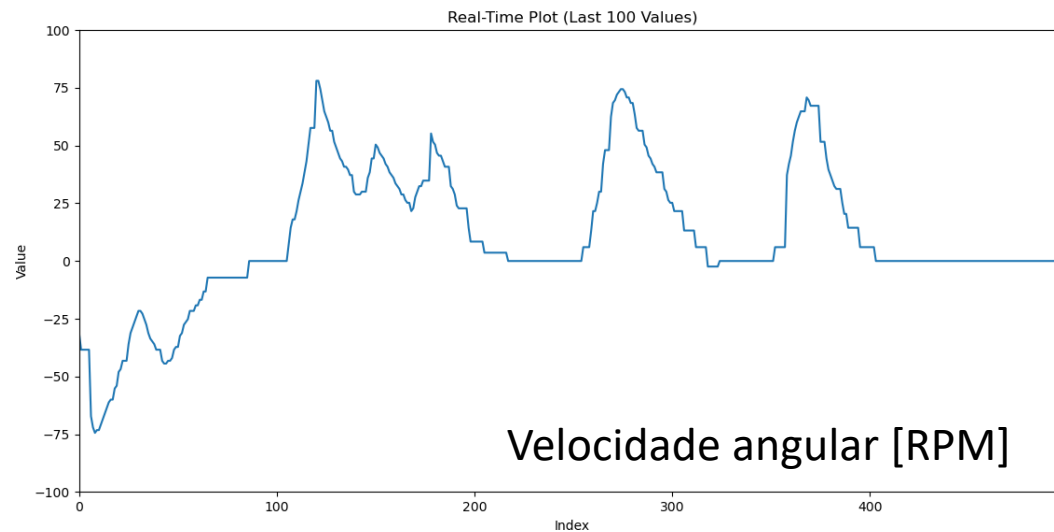
# RESULTADOS



## Comunicação Com o Transdutor

- A biblioteca pode gerenciar diversos transdutores ao mesmo tempo e garante um sample rate alto de até 10kHz, além de ser muito simples de utilizar. A bancada já está lendo dados de torque e velocidade em tempo real. Estamos prontos para a fase de controle.

```
from LCTSfunctions import *  
  
SensorTorque = Torquimeter(Port="COM1", Baudrate = 230400, Timeout=0.003, Tm_max = 100, Rpm_max=30000)  
Ts = 1 # (milliseconds) tempo entre mensagens max Sample rate: fs = 10kHz ou Ts = 0.001 s  
while True:  
    time.sleep(Ts)  
    new_value = SensorTorque.ReadRaw()[2]
```



Fonte: Autor, 2025

Bancada de emulação de turbina eólica integrada em microrrede  
Isaque Verona - Graduação  
PRH – 2.1



## Modelagem e Eletrônica

O estudo do modelo, tanto do emulador quanto do gerador teve avanços mais significativos na última semana, devido a correlação com as disciplinas de Eletrônica Aplicada e principalmente Modelagem e Simulação de Processos, provavelmente os modelos e simulações estarão bem consolidados até o final desse semestre, pois pretendo usar esse trabalho como projeto final da disciplina de Modelagem.

# REFERÊNCIAS



- International Energy Agency, 2024. World Energy Outlook, France.
- Sistema Eólico de pequeno porte para geração de energia elétrica com rastreamento de máxima potencia, 2009. Gabriel Tibola, Florianópolis Brasil.